

**Применение фиолетовых светодиодов
для люминесцентного капиллярного контроля**
Application of violet LEDs in fluorescent penetrant testing

Мигун Н.П., Деленковский Н.В., Гнусин А.Б.

Migoun N.P., Delenkovsky N.V., Gnusin A.B.

Впервые показана возможность эффективного применения светодиодов со средними длинами волн 400 нм в качестве источников освещения при проведении люминесцентного капиллярного контроля. Разработаны макеты автономных осветителей на основе таких светодиодов, превосходящие существующие аналоги по стоимости и безопасности для оператора-дефектоскописта при обеспечении требуемой чувствительности контроля.

The possibility of effective application of LEDs with peak wavelength 400 nm as the light sources in fluorescent penetrant testing is shown for the first time. The stand-alone prototype of LED illuminator is designed.

Как известно, эффективность люминесцентного капиллярного контроля сильно зависит от размеров, яркости и контрастности индикаторных следов дефектов, которые, в свою очередь, зависят как от используемых дефектоскопических материалов, так и от источника ультрафиолетового (УФ) излучения. Для повышения выявляемости поверхностных дефектов используют УФ облучатели большой мощности, однако при этом резко повышается вредное биологическое действие УФ лучей на человека. Чтобы уменьшить вредное действие на дефектоскописта УФ излучения, применяют, например, световоды и телевизионные системы.

Последние годы все более широкое применение находят светодиодные УФ облучатели. Однако известные ультрафиолетовые лампы на светодиодах (например, «UV Inspector 2000-A» производства фирмы «Helling»), во-первых, имеют высокую стоимость и, во-вторых, не снижают опасности облучения оператора жестким ультрафиолетом. Кроме того, в случае необходимости качественного люминесцентного

контроля в дневное время при яркой естественной освещенности объекта контроля при использовании вышеназванных устройств сложно обеспечить необходимое затемнение зоны контроля, что ограничивает использование таких ламп.

Вышеназванные факторы обуславливают настоятельную необходимость разработки нового сравнительно недорогого и эффективного ультрафиолетового облучателя на светодиодах для люминесцентного капиллярного контроля, который сводил бы к минимуму указанные недостатки.

В данной работе нами проведены исследования по определению возможности применения при люминесцентном капиллярном контроле облучателей на основе фиолетовых светодиодов со средними длинами волн около 400 нм. Стоимость таких светодиодов значительно ниже, чем ультрафиолетовых светодиодов, например, типа NSHU551B («Nichia»).

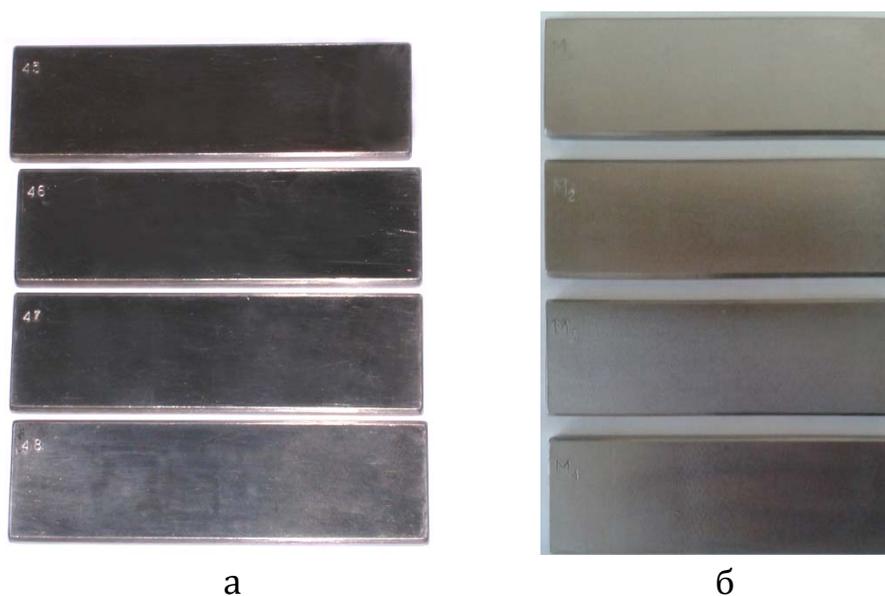


Рис. 1. Экспериментальные образцы для исследования процесса проявления дефектов:

- а – партия из четырех образцов с раскрытиями 1-13 мкм и переменными глубинами 140-1000 мкм;
- б – партия из четырех образцов с раскрытиями дефектов 1-13 мкм и постоянными в пределах образца средними глубинами дефектов 100-400 мкм

Для количественной сравнительной оценки выявляемости дефектов различными источниками возбуждения люминесценции использовались специальные контрольные образцы из нержавеющей стали ферритного класса AISI 430, каждый из которых содержал по 5 дефектов (рисунок 1). Дефекты наносились по разработанной в Институте прикладной физики НАН Беларуси технологии без нанесения на образец дополнительных покрытий и его термообработки. Такая технология позволила получить дефекты, не выходящие на край образца, с шириной раскрытия 1-10 мкм и глубиной 100-1000 мкм [1]. Также использовались контрольные образцы, соответствующие стандарту EN ISO 3452-3 [2], которые содержат дефекты типа трещин с шириной раскрытия $\approx 1-2,5$ мкм и глубиной $\approx 10-50$ мкм. Для количественной обработки результатов исследований использовалась автоматизированная система анализа видеоизображений [3]. Люминесцентный контроль образцов выполнялся в соответствии с СТБ 1172-99 [4] с использованием водосмываемого пенетранта.

По результатам серии экспериментов сравнивалась выявляемость дефектов на поверхности контрольных образцов при использовании для проявления следующих различных источников освещения.

1. УФ лампа «Helling SUPERHELL C10A» (мощность 100Вт, интенсивность УФ излучения 10000 мкВт/см²).

2. УФ светодиод NCSU033B-E с отражателем (мощность 3Вт, интенсивность УФ излучения 2000 мкВт/см²).

3. Регулируемая линейка из 8 УФ светодиодов NSHU591B (мощность 0,8Вт) при их наведении в одну точку (пятно диаметром 35-45 мм, интенсивность УФ излучения 2000 мкВт/см²).

4. Регулируемая линейка из 10 фиолетовых светодиодов (мощность 1Вт) при их наведении в одну точку пятно диаметром 35-45 мм со средней яркостью 1200-1500 Кд/м²).

Сравнительный анализ результатов капиллярного контроля, полученных с использованием вышеперечисленных источников облучения для проявления дефектов на поверхности контрольных образцов, позволил сделать следующие выводы.

Выявляемость на контрольных образцах EN ISO 3452-3 дефектов с глубиной 10 мкм и раскрытиями менее 1 мкм с использованием вышеуказанных осветителей и принятых характеристиках их интенсив-

ностей освещения 2000 мкВт/см² малоэффективна, за исключением УФ лампы «Helling SUPERHELL C10A», обеспечивающей интенсивность УФ излучения 10000 мкВт/см². Дефекты с глубинами 20–30 мкм и раскрытиями 1–1,5 мкм хорошо выявляются с использованием УФ лампы «Helling SUPERHELL C10A» и удовлетворительно – при использовании всех остальных осветителей. Резервом повышения эффективности действия фиолетовых облучателей является, несомненно, повышение их мощности. Поэтому в следующей серии экспериментов ставилась задача определения корреляции между выявляемостью дефектов и мощностью фиолетовых облучателей, варьируемой путем изменения количества светодиодов посредством установки в линейку большего количества светодиодов.

Для сравнения использовались следующие различные источники освещения.

1. Четыре специальных дугообразных платы с 25 точно ориентированными на одну точку фиолетовыми светодиодами (рисунок 2), обеспечивающими для каждой платы на пятне диаметром 35–45 мм яркость до 4000 Кд/м².

2. УФ лампа «Helling SUPERHELL C10A» (интенсивность УФ излучения 10000 мкВт/см²).

3. УФ диод NCSU033B-E с отражателем из полированного алюминия (мощность 3 Вт, интенсивность УФ излучения 2000 мкВт/см²).

4. Фонарь с отражателем и 12 УФ светодиодами NSHU591B-E (без линзы, пиковая длина волны 365 нм).

Для исследований применялись контрольные образцы (рисунок 1). Как показали сравнительные эксперименты, выявляемость всех дефектов на образцах при их освещении вышеуказанным фонарем с 12 УФ светодиодами NSHU591B-E неудовлетворительная. На рисунке 3 представлена одна из серий фотографий характерных следов дефектов, полученных при проведении сравнительных экспериментов. Отчетливо видно, что уже при яркости освещения 8000 Кд/м² (рисунок 3, г) выявляемость следов дефектов для указанных светодиодов превосходит аналогичный параметр для УФ лампы «Helling SUPERHELL C10A».



Рис. 2. Устройство для подсветки зоны при люминесцентном контроле на основе плат, содержащих по 25 фиолетовых светодиодов

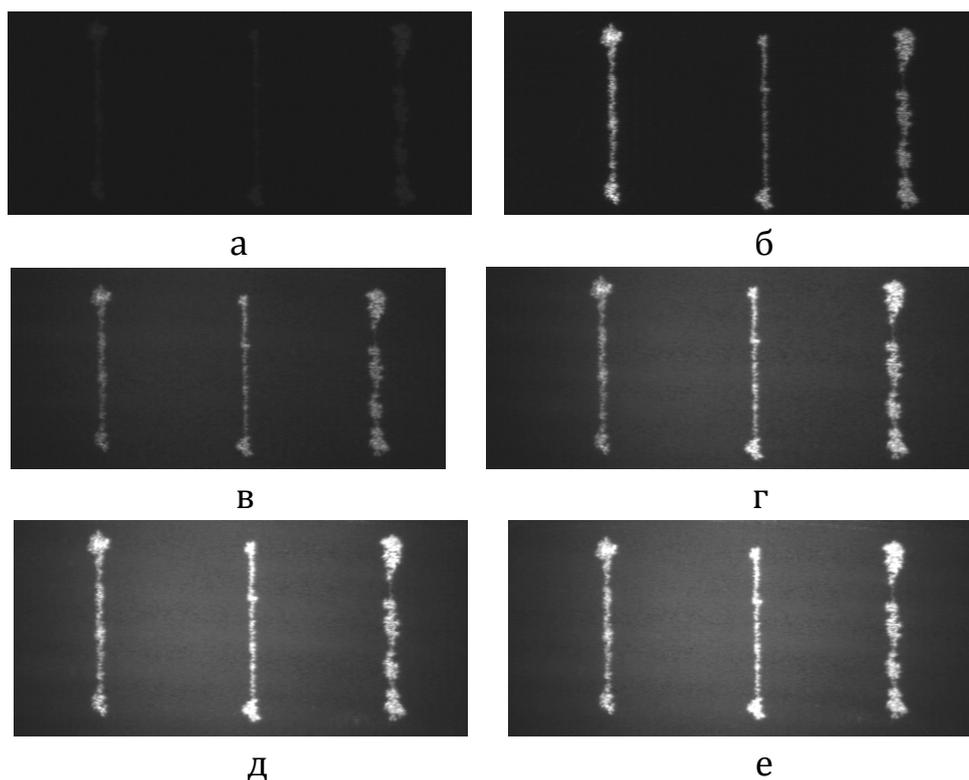


Рис. 3. Облучение люминесцентных индикаторных следов дефектов различными источниками:
а – УФ светодиод NCSU033B; б – УФ лампа «Helling C10A»;
в - е – 1-4 линейки по 25 фиолетовых светодиодов каждая с яркостями:
в – 4000 Кд/м²; г – 8000 Кд/м²; д – 12000 Кд/м²; е – 16000 Кд/м²

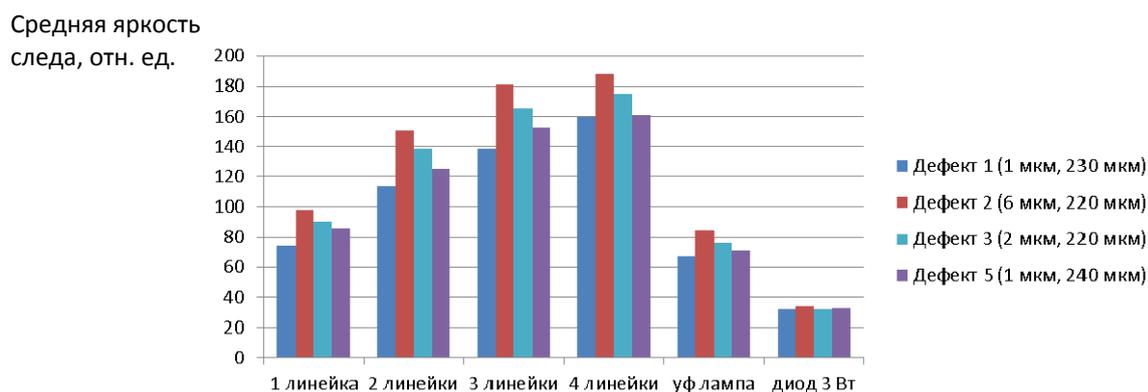


Рис. 4. Диаграмма изменения средней яркости люминесцентных индикаторных рисунков (отн. ед.) при облучении их различными источниками УФ-излучения:

1-4 линейки по 25 фиолетовых светодиодов каждая;
 УФ лампа «Helling C10A»;
 УФ светодиод NCSU033B (в скобках указаны раскрытие и глубина дефектов (мкм))

Был проведен анализ результатов серии экспериментов с изменением средней яркости люминесцентных индикаторных рисунков при облучении их различными источниками УФ излучения.

На рисунке 4 представлена одна из диаграмм зависимостей средней яркости следов дефектов от вида УФ осветителя и силы света (для фиолетовых светодиодов). Установлено повышение яркости свечения следов дефектов более чем в два раза при использовании линейки из 100 фиолетовых светодиодов по сравнению с лампой «Helling SUPERHELL C10A» и в 3-3,5 раза по сравнению с УФ светодиодом NCSU033B. Такие зависимости наблюдались практически для всех дефектов с разными геометрическими характеристиками. Контраст индикаторных рисунков относительно окружающего их фона составлял 0,1–0,2 при освещении УФ светодиодом NCSU033B, 0,4–0,5 при освещении набором из 100 фиолетовых светодиодов и 0,5–0,6 при освещении УФ лампой «Helling SUPERHELL C10A».

В результате показано, что

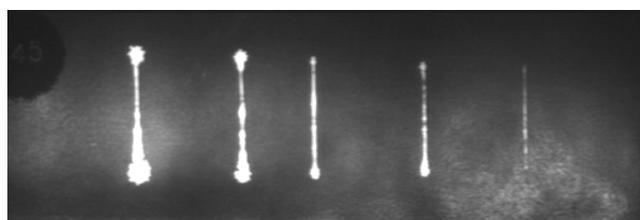
– численные значения яркостей следов дефектов при яркости освещения фиолетовыми светодиодами 4000 Кд/м² (одна линейка) практически равны аналогичным для указанной УФ лампы;

– при возрастании яркости освещения фиолетовыми светодиодами с 4000 Кд/м² до 16000 Кд/м² примерно в два раза возрастает и яркость свечения следов дефектов (нелинейный характер зависимости);

– при максимальной яркости фиолетового светодиодного освещения 16000 Кд/м² яркость следов дефектов примерно в 2–2,3 раза выше, чем при УФ лампе «Helling C10A» и в 3–4 раза выше, чем при освещении УФ диодом NCSU033B-E;

– контраст индикаторных рисунков относительно окружающего их фона составляет: 0,1–0,2 при освещении УФ светодиодом NCSU033B-E; 0,4–0,5 при освещении набором фиолетовых светодиодов и 0,5–0,6 при освещении УФ лампой «Helling C10A».

С целью оценки доли УФ излучения в спектре использованных в наших экспериментах фиолетовых светодиодов и, следовательно, безопасности таких источников освещения при капиллярном контроле были проведены эксперименты с использованием ультрафиолетового фильтра пропускания УФС-2 (ГОСТ 9411, диапазон пропускания 270–380 нм).



а



б

Рис. 5. Влияние ультрафиолетового фильтра УФС-2 (диапазон пропускания 270-380 нм) на результаты люминесцентного контроля образца при его освещении фиолетовыми светодиодами (яркость 960 Кд/м²):
а – без фильтра; б – с фильтром УФС-2

Результаты исследований представлены на рисунке 5. При использовании указанного УФ фильтра средняя яркость индикаторного рисунка снижается на 80–85%, а контраст – на 55–60%. Это означает, что для исследуемых фиолетовых светодиодов со средними длинами волн 400 нм доля ультрафиолета в традиционно используемом при люминесцентном капиллярном контроле диапазоне излучения (360–370 нм) невелика, а возбуждение люминесценции имеет место на более высоких значениях длин волн. Отсюда следует, что осветители на основе таких светодиодов значительно более безопасны по сравнению как с ртутными лампами «Helling SUPERHELL C10A», так и осветителями на основе ультрафиолетовых светодиодов со средней длиной волны 365 нм.

Заключение

Облучатели на основе фиолетовых светодиодов со средними длинами волн 400 нм, имея невысокую стоимость и являясь значительно более безопасными, чем, например, УФ ртутные лампы и облучатели на основе УФ светодиодов, могут эффективно использоваться при проведении люминесцентного капиллярного контроля для выявления поверхностных дефектов с раскрытием более 1 мкм и глубиной более 80 мкм.

При применении данных светодиодов со средними длинами волн 400 нм необходимо обеспечивать яркость освещения дефектов не менее 4000–8000 Кд/м².

Список использованных источников

1. Мигун Н.П., Деленковский Н.В. Гнусин А.Б. Новые средства определения чувствительности дефектоскопических материалов для капиллярного контроля // Метрология и приборостроение. - 2007. - №2. - С. 16-18.
2. EN ISO 3452-3. Non-destructive testing - Penetrant testing - Part 3: Reference test blocks.
3. Мигун Н.П., Гнусин А.Б., Волович И.В. Компьютеризированная система для количественной оценки качества дефектоскопических материалов // Промышленная безопасность. - 2004. - № 1. - С. 34–36.
4. Контроль неразрушающий. Контроль проникающими веществами (капиллярный). Основные положения. СТБ 1172-99. - Введ. 30.08.1999. - Минск: Госстандарт: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1999. - С. 12.

Статья поступила в редакцию 26.02.14